

УДК 630'111+551,588(571.56)

© 1995 г. Н. В. ЗУКЕРТ, С. В. РОЖКОВА, Н. Н. СОКОЛИХИНА

## РОЛЬ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В РАСПРЕДЕЛЕНИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЯКУТИИ

Рассматриваются основные закономерности формирования как широтной, так и высотной зональности растительного покрова в сложной по рельефу территории Якутии в условиях континентального климата. В качестве климатических характеристик, обуславливающих растительную зональность, использовались климатические параметры периода активной вегетации. На основе проведенных исследований построены схемы распределения растительности. Доказано, что преобладающим фактором, обуславливающим широтную зональность, являются условия увлажнения, а в высотном распределении более существенную роль играет термический режим.

*Климатическое районирование, сумма активных температур, сумма осадков, гидротермический коэффициент, растительные зоны.*

Значение климата как фактора, обуславливающего географическую зональность, известно достаточно хорошо [4]. Климатические условия включаются и при создании различных экологических карт [6]. Однако проблемы взаимодействия климата и растительности для горных территорий и вертикальной поясности горных ландшафтов до настоящего времени остаются недостаточно изученными, а работы, которые проводились ранее, посвящены отдельным горным системам [1, 3, 9].

В настоящей работе рассматривается зависимость растительности от климатических условий территории со сложенным рельефом, расположенной внутри континента Азии; проведен подробный анализ некоторых климатических параметров, характеризующих существование различных типов естественной растительности Якутии. В качестве таких характеристик были выбраны значения климатических параметров периода активной вегетации (в дальнейшем этот период назван вегетационным периодом), который характеризуется средней суточной температурой воздуха выше 10°; сумма годового радиационного баланса (*B*) и индекс сухости (*I*).

Расчет климатических характеристик вегетационного периода проводили на основе средних многолетних данных по средней месячной температуре воздуха и средним месячным значениям сумм осадков. Определение годового радиационного баланса и индекса сухости дается в работе [5].

Для сбора и обработки данных, а также построения карт распределения климатических параметров по территории Якутии была использована «Информационная климатическая система» (КРИС), состоящая из базы данных, написанной на FOXPRO, и геоинформационная система EPPL7 (ГИС) [14].

В базу данных включены значения географических характеристик по 147 метеостанциям Якутии: широта, долгота и высота станции; значения средней месячной и годовой температуры воздуха, средних месячных и годовых сумм осадков; среднее месячное и годовое количество облачности; средние месячные и годовые значения упругости водяного пара по данным «Справочников по климату СССР» [11].

Анализ исследований связи климата и растительности показал, что соотношения тепла и влаги являются основными факторами, определяющими географическую зональность растительности [1, 3, 4, 7, 8, 10, 13].

Выбор климатических параметров, обусловливающих распределение растительности на территории Якутии, был проведен методом информационно-статистического анализа [9]. Каждый элемент системы обладает некоторым разнообразием состояний. Проявление каждого состояния неопределенно в некоторый момент времени. Неопределенность  $H(A)$  может быть оценена как функция от вероятности нахождения системы в любом из возможных состояний в пространстве или во времени  $p(A_i)$ :

$$H(A) = p(A_i) \cdot \ln(p(A_i)). \quad (1)$$

Тогда количество неопределенности, устранимой в процессе познания, или иначе количество информации, передаваемое в системе, определяется как

$$T(A, B) = H(A) + H(B) - H(A, B), \quad (2)$$

где  $T(A, B)$  — количество информации,  $H(A)$  — неопределенность параметра  $A$ ,  $H(B)$  — неопределенность параметра  $B$ ,  $H(A, B)$  — их совместная неопределенность.

Для составления мер сопряженности (количество информации) между собой определяется коэффициент информации:

$$K(A, B) = T(A, B)/H(A). \quad (3)$$

Область его изменений лежит в пределах от 0 (при полной независимости  $A$  и  $B$ ) до 1 (при однозначном соответствии состояний  $A$  и  $B$ ). Этот коэффициент можно рассматривать как параметр системы, определяющий эффективность ее функционирования, и можно трактовать как меру чувствительности  $A$  к  $B$ .

Наиболее информативными в данном случае оказались параметры вегетационного периода: сумма температур за период со средней суточной температурой выше  $10^\circ$  ( $TS$ ), суммы осадков за этот период ( $PS$ ), гидротермический коэффициент ( $GTK$ ):

Климатический параметр	TS	PS	GTK	$B$	$I$
$K(A, B)$	0,40	0,26	0,22	0,18	0,18

Основываясь на проведенном анализе, в настоящей работе в дальнейшем более подробно рассмотрены особенности пространственного распределения только климатических характеристик вегетационного периода.

Методом статистического анализа (использовался пакет программ STATGRAF) исследовалась зависимость названных характеристик от широты, долготы и высоты места. На основе результатов статистического анализа с помощью ГИС были построены карты распределения сумм температур больше  $10^\circ$ , сумм осадков за этот период и  $GTK$  по территории Якутии. Полученные карты были проанализированы и методом их совмещения с помощью системы КРИС проведено климатическое зонирование территории для вегетационного периода.

Для выделения климатических зон были выбраны следующие градации: а) по суммам температур воздуха ( $TS$ ):  $0-600^\circ$  (холодные зоны),  $600-800^\circ$  (умеренно холодные),  $800-1000^\circ$  (умеренно теплые),  $1000-1600^\circ$  (теплые зоны); б) по гидротермическому коэффициенту ( $GTK$ ):  $0-0,7$  (засушливые зоны),  $0,7-1,0$  (недостаточного увлажнения),  $1-1,5$  (достаточного увлажнения),  $> 1,5$  (зоны избыточного увлажнения); в) по суммам осадков ( $PS$ ):  $0-40$ ,  $40-120$ ,  $120-200$ ,  $> 200$  мм. На основе этих градаций выделялись зоны с однородными климатическими условиями.

Полученная карта климатического зонирования и карта растительности [2] явились основой для моделирования растительных поясов равнинных и горных территорий. Все многообразие растительности на исходной карте (79 типов) было

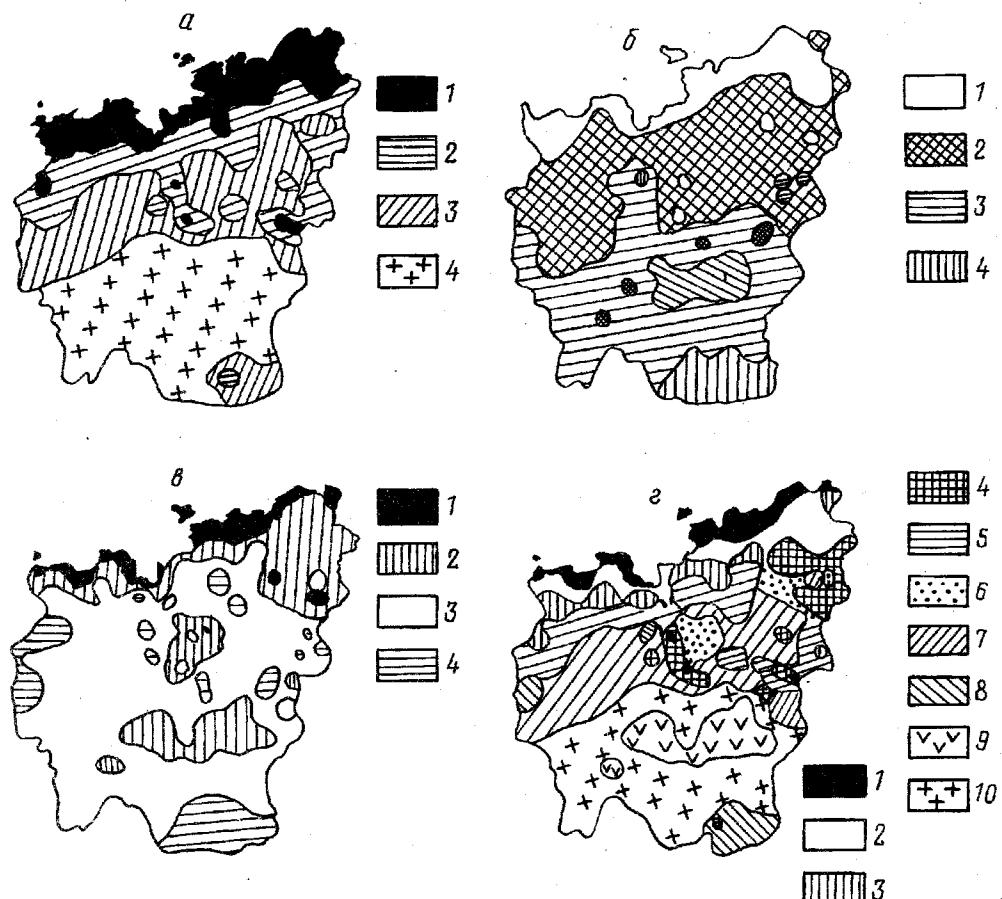


Рис. 1. Карты распределения климатических параметров за период со средними суточными температурами выше 10° и климатических зон на территории Якутии: а — суммы температур за период активной вегетации: 1 — 0—600°, 2 — 600—800°, 3 — 800—1000°, 4 — 1000—1600°; б — суммы осадков за этот период: 1 — 0—40 мм, 2 — 40—120, 3 — 120—200, 4 — > 200 мм; в — гидротермический коэффициент: 1 — 0—0,7, 2 — 0,7—1,0, 3 — 1,0—1,5, 4 — > 1,5; г — климатические зоны: 1 — холодная засушливая, 2 — холодная с недостаточным увлажнением, 3 — холодная с достаточным увлажнением, 4 — умеренно холодная засушливая, 5 — умеренно холодная с достаточным увлажнением, 6 — умеренно теплая засушливая, 7 — умеренно теплая с достаточным увлажнением, 8 — умеренно теплая с избыточным увлажнением, 9 — теплая с недостаточным увлажнением, 10 — теплая с достаточным увлажнением

объединено в 10 однотипных классов для ввода карты растительности в систему КРИС в формате EPLL7: 1) арктическая тундра; 2) субарктическая тундра и тундровые болота; 3) притундровые редкостойные лиственничники; 4) северотаежные редкостойные лиственничники; 5) среднетаежные лиственничники; 6) среднетаежные лиственничники со степными участками и алассными лугами; 7) каменистые пустыни и горные тундры; 8) горные притундровые лиственничники; 9) горные северотаежные лиственничники; 10) горные среднетаежные лиственничники.

В период с температурами больше 10° процессы роста и жизнедеятельности растительности достигают наибольшей интенсивности, поэтому анализ распределения климатических параметров этого периода представляет большой интерес, хотя его продолжительность сравнительно мала в Якутии, особенно на севере и в горных районах.

Характер зависимости  $TS$  от широты показывает четкое уменьшение сумм

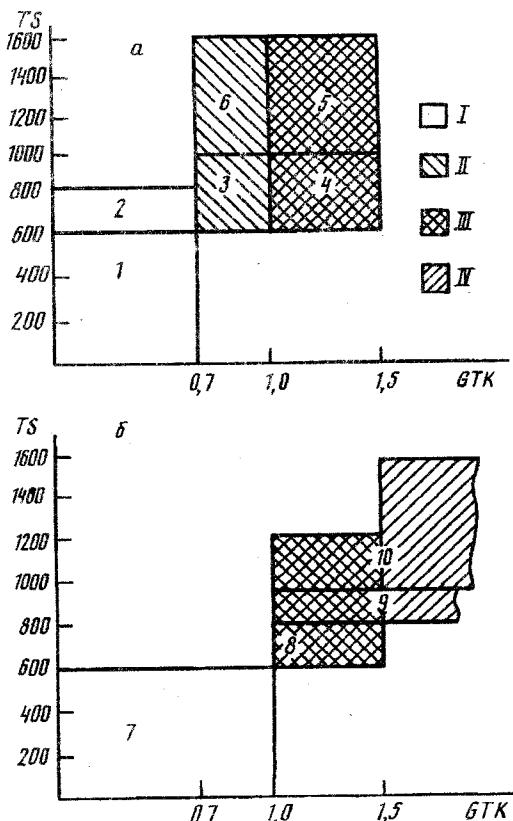


Рис. 2. Схемы широких и высотных зон растительности Якутии: а — широтные зоны: 1 — арктическая тундра, 2 — субарктическая тундра и тундровые болота, 3 — притундровые редкостойные лиственничники, 4 — северотаежные редкостойные лиственничники, 5 — среднетаежные лиственничники со степными участками и аласными лугами; б — высотные зоны: 7 — каменистые пустыни и горные тунидры, 8 — горные притундровые лиственничники, 9 — горные северотаежные лиственничники, 10 — горные среднетаежные лиственничники. Суммы осадков PS: I — 0—40 мм; II — 41—120; III — 121—200; IV — > 200 мм

ту районирования гидротермических условий и карту растительности Якутии, мы сделали попытку выявить геоботаническую зональность как на равнинных, так и горных территориях.

Значения сумм активных температур, сумм осадков вегетационного периода и гидротермического коэффициента используются как координаты, в поле которых рассматривается широтная и высотная смена растительности Якутии.

Построены схемы (рис. 2, а, б), демонстрирующие смену растительности в зависимости от гидротермических условий. Соответствие климатических параметров растительности широтных зон следующее:

$TS_{10}, ^\circ\text{C}$	$GTK$	$PS_{10}, \text{мм}$	Растительность широтных зон
0—600	0—0,7	0—40	Арктическая тундра
0—800	0—0,7	0—40	Субарктическая тундра и тундровые болота
600—1000	0,7—1,0	40—120	Притундровые редкостойные лиственничники
600—1000	1,0—1,5	120—200	Северотаежные редкостойные лиственничники
1000—1600	1,0—1,5	120—200	Среднетаежные лиственничники
1000—1600	0,7—1,0	0—40	То же со степными участками и аласными лугами

Гидротермические условия в горах приводят к следующему распределению растительности по высоте:

температура выше  $10^{\circ}$  с юга на север, при этом выше полярного круга период с температурами  $\geqslant 10^{\circ}$  практически отсутствует. Такое же распределение  $TS$  отмечается и в горах: на высотах более 1300 м период с  $TS > 10^{\circ}$  отсутствует.

Зависимость  $TS$  от широты более сильная, чем от долготы, при этом она значительно выше, чем зависимость  $TS$  от долготы, что проявляется и в величине коэффициентов корреляционной связи ( $r = -0,74$  и  $r = -0,44$  — соответственно).

Широтное изменение  $TS$  по территории нарушается в восточной части Якутии. Нарушение широтной зональности связано с наличием горных систем на территории и проявляется в вертикальной изменчивости  $TS$ . На карте распределения  $TS$  (рис. 1, а) хорошо выделяются Верхоянский хребет и Алданское нагорье. Эти горные системы были выделены для анализа в самостоятельные районы: 1) хребты Верхоянского и Черского; 2) район Алданского нагорья, и для каждого из них проведено исследование зависимости  $TS$  от высоты места. В обоих районах связь  $TS$  с высотой места очень высокая, коэффициенты корреляции достигают значений  $-0,8$  и  $-0,93$  соответственно.

Для выделенных горных районов были рассчитаны градиенты  $TS$ . Так, в районе Алданского нагорья градиент  $TS$  в среднем для все горной системы равен  $65^{\circ}$  на 100 м, в районе Верхоянского хребта он несколько ниже и равен  $61^{\circ}$  на 100 м.

Распределение сумм осадков за рассматриваемый период ( $PS$ ) в зависимости от широты имеет тот же характер, что и сумм температур  $TS$ . К северу происходит уменьшение осадков. Коэффициент корреляции между  $PS$  и широтой достаточно высок и равен  $-0,77$ . Зависимость сумм осадков от широты хорошо видна на карте распределения осадков (см. рис. 1, б). Некоторые нарушения широтной изменчивости, происходящие в восточной части Якутии, связаны с наличием гор. С высотой осадки увеличиваются. Однако зависимость  $PS$  от высоты выражена нечетко, что скорее всего обусловлено уменьшением продолжительности периода со средними суточными температурами  $> 10^{\circ}$  в горах и в связи с этим более низкими суммами осадков.

Для оценки условий увлажнения был выбран гидротермический коэффициент ( $GTK$ ) Селянинова. В нем используется сумма средних суточных температур  $> 10^{\circ}$ , что особенно важно для данной территории.

В дополнение к картам  $TS$  и  $PS$  была построена карта  $GTK$ , которая отражает режим увлажнения за этот период. Пространственное распределение  $GTK$  хорошо соответствует рельефу и осадкам (рис. 1, г). В горных районах наблюдается увеличение  $GTK$  с высотой, несмотря на то что суммы осадков здесь незначительны. В целом для всей Якутии можно отметить, что территория в этот период находится в условиях достаточного увлажнения. На севере Якутии неопределенность территории по  $GTK$  связана или с полным отсутствием рассматриваемого периода, или с тем, что он очень непродолжителен.

Оценка связей климатических условий с типами растительности на территории Якутии и выявление широтной и высотно-поясной смены растительности были проведены на основе зонирования территории по термическим условиям и режиму увлажнения. Для этих целей была построена карта методом наложения трех проанализированных карт ( $TS$ ,  $PS$  и  $GTK$ ) и выделены классы с однородными условиями (рис. 1, г).

На карте четко выделяются четыре зоны, соответствующие различным термическим условиям: холодная, умеренно холодная, умеренно теплая и теплая. В пределах этих зон изменчивость осадков различна. Холодная зона характеризуется незначительными осадками, в остальных зонах осадки могут изменяться в широких пределах (от 0 до 200 мм и выше). По соотношению тепла и влаги в каждой из термических зон выделяются районы с различными условиями увлажнения. В целом по совокупности термического режима и условий увлажнения на территории Якутии было выделено 10 климатических зон.

Проведенный анализ пространственного распределения климатических параметров периода активной вегетации подтвердил наличие широтной и высотной изменчивости гидротермических условий на территории Якутии. Используя кар-

$TS10,^{\circ}\text{C}$	$GTK$	$PS10, \text{мм}$	Высотные пояса
0—600	0,7—1,0	0—120	Каменистые пустыни и горные тундры (гольцы)
600—800	1,0—1,5	120—200	Горные притундровые лиственничники
800—1000	1,0—>1,5	120—>200	Горные северотаежные лиственничники
1000—1600	1,0—>1,5	120—>200	Горные среднетаежные лиственничники

В целом по Якутии выделяются две крупные зоны растительности: тундр и лесной растительности с преобладанием таежных типов. Значения  $GTK = 1$  являются границей между древесной и травянистой растительностью.

Смена растительных типов в первую очередь обусловлена термическими условиями. Это подтверждает вывод Ф. Н. Милькова [7] о том, что в районах, близких к полярному поясу, зоны-аналоги выделяются именно по термическим условиям.

Отмечаются некоторые различия при переходе от одного класса растительности к другому для равнинных и горных территорий. При этом на равнинной территории более четко прослеживается связь растительности с гидротермическими условиями. На равнинных территориях растительные подзоны определяются более четкими границами режима увлажнения с достаточно широким диапазоном термических условий. В горах же термические условия растительных подзон более узкие, в то время как условия увлажнения изменяются в широких пределах, особенно в подзонах с древесной растительностью. Так, для подзоны притундрового редколесья  $GTK$  изменяется от 0,7 до 1,5, а для подзон северной и средней тайги изменения  $GTK$  еще более значительны. Возможно, это связано и с климатическими различиями и особенностями двух горных систем Якутии — хребтов Верхоянского и Черского и Алданского нагорья. Так, на Алданском нагорье растительность в целом находится в теплой зоне и в условиях избыточного увлажнения.

Если же рассмотреть отдельно смену растительности на Алданском нагорье и в восточной высокогорной части Якутии (хребты Верхоянский и Черского), то также можно заметить различия в переходе одной растительности в другую. Так, в восточной части Якутии в районах Верхоянского хребта переход к каменистым пустыням и горным тундрам наблюдается, как и на равнинных территориях, при низком увлажнении, но при более высоких суммах температур — от 600 до 800°. В то же время на Алданском нагорье переход к каменистым пустыням и горным тундрам происходит при достаточном увлажнении, но при суммах температур не выше 600°. Переход северотаежных лесов в среднетаежные в горах происходит при более низких суммах температур, чем на равнинах, как на хребтах Верхоянском и Черского, так и на Алданском нагорье.

Следует отметить, что однотипная растительность характеризуется близкими гидротермическими условиями как на равнинных, так и в горных территориях. Так, зона среднетаежных лесов характеризуется суммами температур от 1000 до 1600° и суммами осадков от 50 до 200 мм и выше. На Верхоянском хребте зоны средней тайги соответствуют более низкие значения  $TS$  — от 800 до 1000° при условиях достаточного увлажнения с  $PS \leq 120 \text{ мм}$ , но эта зона довольно узкая.

Северотаежные леса характеризуются суммами температур, изменяющимися от 800 до 1000°, и осадками не более 120 мм, хотя в районе Алданского нагорья  $PS$  может достигать и 200 мм.

Зона каменистых пустынь и горных тундр, как и арктических тундр, приурочена к холодному поясу, в основном с недостаточным увлажнением, но в горах Алданского нагорья эти зоны наблюдаются и в условиях, близких к условиям с достаточным увлажнением.

К основным особенностям растительной зональности Якутии следует отнести наличие древесной растительности при таком гидротермическом режиме, при котором в других районах земного шара существуют степи: равновесное увлажнение ( $GTK = 1$ ), суммы активных температур от 1000 до 1600°.

Особенности в смене растительных поясов в Якутии указывают на то, что кроме гидротермических условий следует учитывать и другие факторы, в частности для данного района — условия вечной мерзлоты. В настоящей биоклиматической модели учитываются условия вечной мерзлоты только через особенности самой растительности. Наличие вечной мерзлоты проявляется в ярко выраженной своеобразии растительности Якутии, что находит отражение в интразональности растительности: в преобладании таежной зоны на всей территории, наличии степных ландшафтов в центре таежной зоны, в сочетании экологически разнообразных фаунистических группировок и т. д. Все это преломляется в формировании и динамике специфичных, мало характерных для северо-восточных районов Азии лесных биогеоценозов [11].

Подтверждением этого является и тип древесной растительности, которая произрастает в данных условиях. Так, основной лесообразующей породой для Якутии является лиственница даурская, которая оказывается более выносливой в условиях резкоконтинентального климата с вечной мерзлотой. И только в условиях увеличения увлажнения и  $TS$ , близких к  $1600^{\circ}$ , наряду с лиственицей появляются ель, сосна и береза.

**Выводы.** 1. Отмечено, что изменения сумм температур вегетационного периода с высотой происходят по-разному в различных горных системах Якутии. Уменьшение  $TS$  с высотой в районе Алданского нагорья происходит быстрее (градиент  $TS = 68^{\circ}/100$  м), чем в горной восточной части Якутии (градиент  $TS = 61^{\circ}/100$  м). Распределение осадков в вегетационный период по территории более равномерное, чем сумм температур.

2. Метод ГИС-технологий является перспективным для исследования взаимосвязи климата и растительности. Используя этот метод с учетом пространственного анализа, авторы построили карты распределения климатических характеристик вегетационного периода. Методом совмещения отдельных карт с помощью ГИС EPPL7 получена карта гидротермического районирования территории Якутии.

3. Проведенные исследования позволяют охарактеризовать условия формирования зональных и внутризональных типов растительности. Построенные схемы в виде ординации растительных поясов по условиям тепла и влаги как для равнинных, так и горных районов показывают, что в целом по Якутии выделяются две зоны: тундр и лесной растительности с преобладанием таежных типов, выделение которых происходит по условиям увлажнения. Значения  $GTK = 1$  служат границей между травянистой и древесной растительностью. Причем главным фактором, обуславливающим широтную зональность, являются условия увлажнения, а в высотном распределении более существенную роль играет термический режим.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенштат Б. А. Климатические факторы ландшафтных различий горных склонов восточных и западных экспозиций // Метеорология и гидрология. 1966. № 2. С. 22—26.
2. Атлас сельского хозяйства Якутской АССР. М.: ГУГик, 1989. 115 с.
3. Борзенкова И. И. О некоторых закономерностях вертикальной географической зональности / Тр. ГГО. 1967. Вып. 193. С. 53—59.
4. Будыко М. И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 475 с.
5. Зукерт Н. В., Соколихина Р. Р. Расчет радиационного баланса на территории республики Саха (Якутия) // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1993. № 5. С. 86—90.
6. Корреляционная эколого-фитоценотическая карта Сибири. М. 1 : 7.500.000. Авторы: И. Ц. Букс, В. Н. Байбордин, Л. С. Тимирбаев. Новосибирск: Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока, 1977.
7. Мильков Ф. Н. Природные зоны СССР. М.: Мысль, 1977. 294 с.
8. Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М., Назимова Д. И. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 225 с.
9. Пузаченко Ю. Г., Мошкин А. В. Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях // Итоги науки и техники. Медицинская география. М.: ВИНИТИ, 1969. Вып. 3. С. 5—65.
10. Пузаченко Ю. Г., Скулкин В. С. Структура растительности лесной зоны СССР. М.: Наука, 1981. 276 с.

11. Справочник по климату СССР. 1963—1968. Вып. 24. часть I—IV.
12. Уткин А. И. Леса Центральной Якутии. М.: Наука, 1965. 207 с.
13. Шашко Д. И. Климатические условия земледелия Центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 262 с.
14. Rozhkova S. V., Zukert N. Information system "CVIS" for research in relationship between climate change and forest ecosystem in Northern Russia//ISCORD'94, Extended abstracts, June 13—16. Finland, 1994. P. 274—275.

Центр по экологии и продуктивности  
лесов РАН, Москва

Поступила в редакцию  
18.10.1994

N. V. Zukert, S. V. Rozhkova, N. N. Sokolikhina

### HYDROTHERMIC REGIME AS A FACTOR OF PLANT DISTRIBUTION IN YAKUTIA

Relations between vegetation and climatic conditions have been considered for a territory with complex relief located in interior Asia. Detailed analysis of climatic parameters for the period of active growth conditioning an existence of various types of natural vegetation in Yakutia has been given. Methods of GIS technologies are used for estimating the relations between climatic parameters and vegetation. On the basis of these methods the schemes of latitudinal and altitudinal distribution of vegetation in Yakutia have been made. The prevailing factor, responsible for the latitudinal zonality, is moisture conditions, hydrothermic regime is of greater importance in the altitudinal zonality. GTK = 1 is characteristic of the border between grass and woody vegetation.